

**PERAN PROSES PEMISAHAN DI INDUSTRI DAN  
POSISINYA DALAM PENDIDIKAN TEKNIK KIMIA**



**UNIVERSITAS GADJAH MADA**

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar  
dalam bidang Proses Pemisahan (*Separation Processes*)  
pada Fakultas Teknik  
Universitas Gadjah Mada**

**Disampaikan pada Pengukuhan Guru Besar  
Universitas Gadjah Mada  
Tanggal 11 Februari 2025**

**Oleh:  
Prof. Dr. Ir. Aswati Mindaryani, MSc, IPU**

*Bismillaahir rohmaanir rohiim*

Yang saya hormati,  
Ketua, Sekretaris, dan anggota Majelis Wali Amanat Universitas  
Gadjah Mada  
Rektor, Wakil Rektor Universitas Gadjah Mada  
Ketua, Sekretaris, dan anggota Dewan Guru Besar Universitas Gadjah  
Mada  
Ketua, Sekretaris, dan anggota Senat Akademik Universitas Gadjah  
Mada  
Dekan dan Wakil Dekan, Ketua dan Sekretaris Senat, serta para guru  
besar di lingkungan Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada,  
Para dosen, tenaga kependidikan, dan Civitas Akademika Universitas  
Gadjah Mada  
Para tamu undangan, dan keluarga yang berbahagia

*Assalaamu'alaikum wa rohmatullaahi wa barokaatuhu*

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Allah Subhaanahu Wa Ta'aalaa yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya kepada kita semua, sehingga bisa hadir di Balai Senat Universitas Gadjah Mada dalam keadaan sehat wal'afiat. Sholawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad Shallallaahu 'Alaihi wa Sallam beserta keluarganya, para sahabatnya dan pengikutnya sampai akhir zaman. Saya dan keluarga mengucapkan terima kasih kepada ibu dan bapak semua yang hadir pada Rapat Terbuka Universitas dalam rangka Pengukuhan Guru Besar hari ini. Merupakan kehormatan bagi saya mendapatkan kesempatan menyampaikan pidato pengukuhan Guru Besar saya di bidang ilmu Proses Pemisahan (*Separation Processes*) dengan judul :

### **Peran Proses Pemisahan Di Industri dan Posisinya dalam Pendidikan Teknik Kimia**

Bapak/Ibu yang saya muliakan, ijinkan saya menjelaskan mengapa judul ini penting untuk diangkat.

## I. Pengantar

Istilah pemisahan di bidang teknik kimia berasal dari terjemahan kata *separation*, yang dalam perkembangan bahasa Indonesia, istilah tersebut juga sudah diadaptasi menjadi kata separasi. Istilah separasi sudah dipakai secara umum di bidang teknik kimia. Pabrik kimia secara konsep dibagi menjadi 2 bagian, yaitu unit operasi dan unit proses. Konsep unit operasi diperkenalkan oleh Dr. Arthur D. Little pada tahun 1915. Konsep unit proses diperkenalkan oleh P.H. Groggin pada tahun 1923 [1]. Definisi unit operasi adalah proses yang tidak melibatkan reaksi kimia, hanya perubahan fisis, alat alat yang mengubah sifat fisis bahan. Proses pemisahan termasuk dalam unit operasi. Unit operasi yang digabung dengan unit proses saat ini juga banyak digunakan untuk meningkatkan efisiensi, misalnya alat *reactive distillation*, *reactive extraction*, *reactive absorption* [2].

Pada pabrik kimia secara umum, bahan baku sebelum masuk ke unit proses perlu dipersiapkan agar memenuhi spesifikasi untuk bereaksi di reaktor. Ini dikenal dengan *upstream processing*. Hasil reaksi yang keluar dari reaktor merupakan campuran, karena jarang suatu reaksi berlangsung sempurna. Untuk memenuhi spesifikasi produk yang akan dijual, maka perlu proses pemurnian hasil. Tahap ini disebut *downstream processing*. Baik *upstream processing* maupun *downstream processing* umumnya merupakan proses pemisahan. Hal ini menunjukkan bahwa proses pemisahan merupakan salah satu pilar penting dalam proses industri kimia.

Revolusi industri pada abad ke-18 dan ke-19 membawa kemajuan signifikan dalam proses pemisahan. Penemuan distilasi bertingkat memungkinkan pemisahan fraksi minyak bumi menjadi berbagai produk seperti bensin, diesel, dan kerosen. Di era tersebut, peralatan seperti kolom distilasi mulai dikembangkan dengan mempertimbangkan efisiensi pemisahan dan skala produksi yang lebih besar.

Abad ke-20 menandai loncatan teknologi dengan munculnya teknik-teknik pemisahan berbasis molekuler, seperti adsorpsi dan pemisahan menggunakan membran. Metode ini memungkinkan pemisahan yang lebih selektif dan hemat energi, terutama untuk

campuran yang sulit dipisahkan menggunakan metode konvensional. Pengembangan teknologi seperti *reverse osmosis* dan ultrafiltrasi memperluas aplikasi proses pemisahan ke bidang-bidang baru seperti pengolahan air, industri farmasi, dan bioproses.

Proses pemisahan memerlukan 40-90% dari modal maupun biaya operasional di pabrik. Dengan pemilihan proses pemisahan yang efisien, akan mengurangi biaya dan meningkatkan keuntungan. Di bidang teknik kimia, proses ini memainkan peranan penting dalam mencapai proses produksi yang efisien, menghasilkan produk berkualitas tinggi, serta memastikan keberlanjutan lingkungan. Tanpa adanya teknologi pemisahan yang andal dan optimum, maka industri yang bersangkutan tidak akan mampu bersaing dan bertahan dalam skala global.

*Bapak/Ibu yang saya hormati,*

## **II. Proses Pemisahan di Industri**

Sebagai gambaran umum bahwa proses pemisahan merupakan bagian integral dalam industri kimia, berikut ilustrasi praktek proses pemisahan yang digunakan di berbagai sektor industri kimia.

### **Industri Minyak dan Gas**

Minyak mentah merupakan senyawa hidrokarbon multi komponen, dipisahkan menurut titik didihnya. Produk akhir berupa beberapa bahan bakar: avtur, bensin, kerosin, solar, *medium fuel oil*, *lube oil*, aspal dan seterusnya. Produk tersebut mempunyai spesifikasi khas, yang secara umum berdasarkan kisaran suhu didihnya.

### **Industri Pupuk Urea**

Industri pupuk urea di Indonesia sampai saat ini masih berbasis gas alam. Dalam prosesnya, gas alam dengan komponen utamanya berupa gas metana ( $\text{CH}_4$ ) mengandung pengotor: gas  $\text{CO}_2$ , senyawa sulfur, senyawa merkuri (dalam kisaran ppm). Senyawa pengotor tersebut bersifat sebagai racun katalis, sehingga perlu dipisahkan. Proses pemisahan yang digunakan antara lain adalah absorpsi

(penyerapan) gas asam dan *stripping* (pelucutan), juga adsorpsi (penjerapan) senyawa merkuri.

### **Industri pertambangan**

Pemisahan bijih mineral dari campuran tanah, dilakukan dengan metode flotasi. Proses flotasi merupakan salah satu proses pemisahan campuran fase padat-padat. Salah satu lanjutan proses flotasi adalah proses pemisahan dengan teknologi *High-Pressure Acid Leach* (HPAL). HPAL merupakan metode ekstraksi untuk memisahkan nikel dari bijih laterit (kadar Ni sekitar 1 %) melalui proses kimia dengan melibatkan suhu dan tekanan tinggi. Dalam proses ini, bijih laterit dihancurkan dan dimasukkan ke dalam tangki autoklaf, di mana larutan asam sulfat ditambahkan. Suhu dan tekanan tinggi membantu melarutkan nikel dari bijih laterit secara efisien [3].

### **Industri Pengolahan Bahan Pangan**

Praktik proses pemisahan di industri ini sangat luas, misal pengambilan minyak dari biji bijian atau dari kacang-kacangan. Proses pemisahan ini mencakup ekstraksi padat – cair (*leaching*); penghilangan kotoran (penjernihan) minyak dengan adsorpsi (penjerapan) menggunakan *activated bleaching earth*; dan deodorisasi dengan cara *stripping* (pelucutan) menggunakan uap lewat panas (*superheated steam*).

### **Industri Bioproses**

Proses fermentasi tetes tebu atau molases dengan ragi *Saccharomyces cerevisiae* akan menghasilkan etanol dengan konsentrasi kira-kira 8-10 % [4]. Untuk mendapatkan etanol teknis dengan konsentrasi 70% diperlukan proses pemisahan. Proses pemisahan untuk memekatkan larutan etanol 10 % menjadi larutan etanol 70 % menggunakan cara distilasi bertingkat. Jika diinginkan etanol 99,9% sebagai biofuel maka diperlukan proses pemisahan lebih maju (advanced); misalnya: menggunakan distilasi azeotrop, pemisahan dengan membran, atau proses adsorpsi dengan cara *Pressure Swing Adsorption*.

## **Industri Minyak Atsiri**

Minyak atsiri yang ada dalam tanaman serih, saat ini banyak digunakan untuk pewangi sabun atau aromaterapi. Kadar minyak atsiri dalam tanaman serih sekitar 8 gram minyak atsiri per 100 g bahan baku kering. Untuk mendapatkan minyak atsiri dari tanaman serih diperlukan proses pemisahan secara ekstraksi menggunakan pelarut atau dengan distilasi uap.

## **Industri Pewarna Alami**

Indonesia mempunyai sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber zat warna alami. Agar produk pewarna ekonomis dan kompetitif terhadap pewarna sintetis, seharusnya bahan baku pewarna alami memiliki kriteria sebagai berikut: tersedia dalam kapasitas besar dan berkelanjutan; memiliki nilai sosial dan ekonomi rendah, misalnya limbah atau tumbuhan yang tidak dimanfaatkan, serta tidak merusak lingkungan bila digunakan [5]. Bahan baku yang memenuhi kriteria tersebut antara lain; Kulit soga tingi (*Ceriops tagal*) atau lebih dikenal dengan Mangrove. Mangrove mempunyai kandungan tanin tinggi, bisa mencapai di atas 20% dan memberikan warna coklat kemerahan [6]. Kayu dan kulit kayu Merbau (*Intsia bijuga*) mengandung senyawa tanin, menghasilkan pewarna alami coklat [7]. Pengambilan zat warna alami dari tanaman dapat dilakukan dengan cara ekstraksi menggunakan pelarut. Adapun pelarut yang sering digunakan adalah air karena ramah lingkungan.

## **Industri Farmasi**

Produksi antibiotik *Erythromycin* diperoleh dari fermentasi dextrin dan minyak kedelai dengan mikroorganisme *Saccharopolyspora erythraea*. Pada proses ini dihasilkan antibiotik hasil fermentasi dengan kadar sangat rendah. Pemisahan antibiotik dari larutan dilakukan dengan ekstraksi menggunakan pelarut butil asetat. Proses selanjutnya adalah kristalisasi untuk mendapatkan produk kristal antibiotik. Produksi antibiotik Penicillin G, menggunakan substrat glukosa dengan fungi *Penicillium chrysogenum* menghasilkan antibiotik Penicillin. Pemisahan larutan *broth* yang kadarnya 50 g/L menggunakan cara ekstraksi dengan pelarut butil asetat. Selanjutnya

dilakukan kristalisasi dan *freeze drying* untuk mendapatkan kristal Penicillin.

### **Specialty Gas: Pemisahan Nitrogen, Oksigen dan Argon**

Gas oksigen dengan kemurnian tinggi banyak dimanfaatkan untuk proses kimia, metalurgi, elektronik dan kesehatan. Produksi gas oksigen dari udara dengan cara konvensional menggunakan proses distilasi. Pada proses ini udara dicairkan, kemudian dipisahkan dengan cara distilasi pada suhu yang sangat rendah. Nitrogen mempunyai titik didih yang paling rendah ( $-195.8^{\circ}\text{C}$ ), diikuti argon ( $-185.8^{\circ}\text{C}$ ), dan oksigen ( $-183^{\circ}\text{C}$ ). Uap yang kaya nitrogen dipisahkan dari cairan oksigen dalam kolom distilasi bertekanan tinggi. Kemudian dengan menggunakan kolom distilasi bertekanan rendah akan diperoleh nitrogen dengan kemurnian yang lebih tinggi. Metode ini dikembangkan oleh Carl Von Linde pada tahun 1895, pertama kali diaplikasikan di industri pada tahun 1902. Proses ini mampu menghasilkan gas oksigen dengan kemurnian 99,9%. Proses ini memerlukan energi cukup besar, karena merupakan proses *cryogenic* (proses pada suhu sangat rendah) [8].

Pada saat ini, produksi oksigen juga menggunakan teknologi *Pressure Swing Adsorption* (PSA). Proses ini menggunakan prinsip adsorpsi (penjerapan) menggunakan *molecular sieve adsorbent* pada tekanan tinggi, dan desorpsi pada tekanan rendah. *Pressure Swing Adsorption* atau PSA ini terdiri dari kompresor (untuk menaikkan tekanan udara) dan dua buah kolom adsorben. Bila kolom adsorpsi yang beroperasi pada tekanan 5-10 bar, sudah mulai jenuh dengan nitrogen, maka operasinya dibalik, yaitu kolom adsorpsi menjadi kolom desorpsi tekanan rendah demikian seterusnya. Jenis adsorben yang digunakan umumnya dari senyawa zeolite (Al-Si), dengan ukuran pori yang spesifik.

Tabel 1. Perbandingan antara Distilasi Kriogenik, PSA dan membran.

Metode Pemisahan Udara	Konsumsi Energi (kWh/Nm <sup>3</sup> )	Kemurnian produk (%)	Kapasitas pabrik (ton/hari)
Distilasi kriogenik	0,4-0,6	99- 99,999%	100-5000
PSA	0,3-0,5	90-95%	1-200
Membran	0,5-1	90-99%	1-200

<https://chemicalengineeringworld.com/cryogenic-distillation-of-air/>

Produksi gas oksigen menggunakan teknologi yang menggabungkan antara penggunaan PSA *molecular sieves* dengan distilasi kriogenik. Umpan udara mengandung uap air dan CO<sub>2</sub>, yang akan membeku dan menyumbat aliran jika tidak dipisahkan. Pemisahan uap air dan CO<sub>2</sub> menggunakan kolom *molecular sieves* menggantikan alat penukar panas (*heat exchanger*). Metode pemisahan konvensional menggunakan 2 alat pendingin yang kondisinya berbeda, sedang dengan *molecular sieve* dapat digunakan satu alat untuk memisahkan secara simultan uap air dan CO<sub>2</sub>. Selain itu *molecular sieve* dapat dioperasikan pada suhu yang lebih tinggi dibanding alat penukar panas, sehingga mempunyai efisiensi energi lebih tinggi dan juga biaya pemeliharaan yang lebih rendah.

Pada saat ini, proses pemisahan di industri menyangkut dampak yang signifikan pada:

- a. **Efisiensi Operasional:** Pemilihan metode pemisahan yang tepat dapat mengurangi konsumsi energi hingga 30% dibandingkan dengan metode konvensional.
- b. **Keberlanjutan Lingkungan:** Dengan teknologi seperti membran ultrafiltrasi, air limbah dapat didaur ulang untuk mengurangi polusi.
- c. **Peningkatan Kualitas Produk:** Proses seperti distilasi azeotropik memungkinkan pemisahan campuran dengan titik didih serupa, menghasilkan produk dengan kemurnian yang sangat tinggi.



*Bapak/Ibu yang saya hormati,*

### **III. Jenis dan Klasifikasi Proses Pemisahan**

Untuk memberi gambaran ruang lingkup proses pemisahan di industri kimia, proses pemisahan dapat diklasifikasikan berdasarkan pada pendekatan: sifat fisis pemisahan, media atau agen pemisahan (energi panas, massa), maupun pendekatan spesifik, misalnya ukuran molekul dan afinitasnya.

De Haan dkk [9], membagi proses pemisahan berdasar campuran umpan yang akan dipisahkan, yaitu campuran heterogen dan campuran homogen. Campuran heterogen mencakup beberapa cara pemisahan fase, dan campuran homogen mencakup pemisahan komponen.

#### **3.1 Campuran Heterogen**

Campuran heterogen yang merupakan campuran lebih dari satu fase, sering kali menggunakan gaya mekanik dalam pemisahan fasenya, misalnya gaya gravitasi, gaya sentrifugal, pengurangan tekanan atau medan listrik dan/atau magnet untuk memisahkan fase-fase tersebut. Oleh karena itu, proses pemisahan ini dinamakan pemisahan mekanis. Yang termasuk dalam pemisahan mekanis adalah sebagai berikut.

##### **a. Sedimentasi**

Metode ini memanfaatkan gaya gravitasi, melalui perbedaan rapat massanya. Dalam pemakaiannya, prinsip ini digunakan untuk memisahkan fase gas-cair, padat-cair, cair-cair, gas-padat. Contoh aplikasinya adalah pada pengolahan air limbah untuk memisahkan lumpur (partikel padat) dan air, pemisahan air dari minyak pada sumur minyak bumi, pemisahan gas dan cairan pada sumur gas bumi.

##### **b. Sentrifugasi**

Prinsip proses ini adalah mempercepat pemisahan partikel padat atau cair dengan gaya sentrifugal. Pemisahan dengan sentrifugasi sering digunakan di pabrik kimia yang menggunakan proses kristalisasi. Contoh lainnya adalah industri farmasi, seperti memisahkan plasma dari darah.

### c. Filtrasi

Pemisahan ini menggunakan medium penyaring untuk memisahkan partikel padat dari cairan atau gas. Contohnya adalah pemisahan endapan padat dari cairan filtratnya, penyaringan bubuk kertas dalam industri kertas, penangkapan partikel debu dalam udara yang mengalir pada sistem ventilasi.

## 3.2 Campuran Homogen

Untuk campuran homogen (padat, cair atau gas), pemisahan komponen didasarkan pada perpindahan difusi material dari satu fase ke fase yang lain. Operasi ini disebut sebagai proses pemisahan molekuler. Sebagian besar proses pemisahan molekuler beroperasi melalui keseimbangan dua fase yang tidak bercampur, yang memiliki komposisi berbeda saat setimbang. Contohnya adalah proses absorpsi/penyerapan, distilasi, dan ekstraksi.

Klasifikasi pemisahan pada campuran homogen ini dapat didasarkan pada jenis agen pemisah (*separating agent*), dan pada ukuran molekul.

### Pemisahan berdasar agen pemisah

Jika campuran umpan berupa larutan homogen, maka diperlukan agen pemisah untuk pembentukan fase kedua. Agen pemisah ini bisa berupa energi (panas, tekanan), disebut *energy separating agent* (ESA), dan bisa berupa massa, disebut sebagai *mass separating agent* (MSA). Pada ESA, fase kedua ini dapat dibangkitkan oleh energi panas, dalam bentuk uap. Pada MSA, agen pemisah berupa cairan pelarut pada proses ekstraksi maupun *leaching*, agen pemisah padat pada proses adsorpsi (penjerapan).

### **Energi sebagai agen pemisah (ESA):**

Proses pemisahan yang menggunakan energi (panas, tekanan) sebagai agen pemisah adalah sebagai berikut.

#### **a. Distilasi:**

Prinsipnya adalah, panas dimasukkan melalui reboiler, mengubah sebagian cairan di reboiler menjadi uap yang mengalir ke atas menara distilasi, untuk diembunkan (diambil panasnya) di

kondenser. Jadi energi panas mengalir dari bawah menara menuju puncak menara, dan dikeluarkan dalam kondenser.

**b. Reverse Osmosis:**

Prinsip pemisahan ini menggunakan tekanan untuk melawan tekanan osmosis. Contohnya adalah desalinasi air laut menggunakan membran semi-permeabel untuk memisahkan garam dan mineral dari air laut, umumnya untuk menyediakan air minum. Energi tekanan dikenakan pada larutan garam, untuk memaksa molekul air dari larutan melalui membran *semi permeable*, dimana sisi lain membran adalah air murni.

**Massa sebagai agen pemisah (MSA):**

Agen **pemisah massa berbentuk cairan** digunakan dalam proses pemisahan:

**a. Ekstraksi Cair-cair**

Perpindahan massa senyawa dari satu cairan ke cairan lain berdasarkan perbedaan kelarutan. Contoh penerapannya adalah pemisahan asam laktat dari larutan hasil fermentasi menggunakan n-butanol dan garam ammonium sulfat [10].

**b. Adsorpsi (penyerapan)**

Perpindahan massa senyawa yang diinginkan dalam fase gas, menggunakan pelarut yang selektif berdasarkan perbedaan kelarutan. Contoh adsorpsi adalah pemisahan gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S dari gas alam dengan larutan Benfield.

Adapun **agen pemisah massa berbentuk padatan** digunakan dalam proses-proses berikut.

**a. Adsorpsi (penyerapan):**

Bahan adsorben ZnO digunakan untuk memisahkan komponen spesifik, seperti penghilangan senyawa sulfur dari gas alam.

**b. Ion Exchange:**

Prinsip pemisahannya seperti adsorpsi, didasarkan pada pertukaran ion, misalnya ion Ca<sup>2+</sup> dalam air ditukar menggunakan resin yang mengandung kation H<sup>+</sup> atau Na<sup>+</sup>.

**c. Kromatografi:**

Prinsip pemisahannya berdasarkan sifat afinitas molekuler yang berinteraksi dengan fase stasioner dan fase gerak. Contoh aplikasinya adalah analisis senyawa dalam campuran dengan *gas chromatography* atau *liquid chromatography*.

**Agen pemisah massa berbentuk gas** digunakan di proses pemisahan komponen padat-padat.

Flotasi:

Pemisahan partikel padat (misalnya pemungutan komponen tembaga dari tanah tambang) berdasarkan afinitas senyawa terhadap udara yang dialirkan dalam suspensi padatan di air. Partikel senyawa yang diinginkan akan menempel pada gelembung udara yang bergerak naik ke atas permukaan.

### *Pemisahan Berdasarkan Ukuran Molekul*

Pendekatan ini didasarkan pada perbedaan ukuran molekul untuk aplikasi spesifik.

- **Membran:** Teknologi berbasis membran digunakan untuk memisahkan molekul atau ion tertentu.
  - **Nanofiltrasi:**  
Digunakan untuk memisahkan kontaminan yang berbahaya dari air, misalnya seperti pestisida.
  - **Ultrafiltrasi:**  
Pemisahan berdasar ukuran molekulnya, misal meningkatkan kadar protein dalam susu, dengan meloloskan molekul air.

Beberapa proses pemisahan menggunakan lebih dari satu agen pemisah. Contohnya adalah distilasi ekstraktif, di mana campuran komponen dengan titik didih yang dekat dipisahkan dengan menambahkan pelarut (agen pemisah massa) dan digabung dengan distilasi yang menggunakan agen pemisah berupa panas / energi.

Wankat [11], melihat proses pemisahan dari sudut pandang yang lain, dengan membuat klasifikasi proses pemisahan yang didasarkan pada pengelompokan teori atau prinsip pemisahan yang serupa, yaitu:

1. *Classical equilibrium-staged*: distilasi, absorpsi, stripping, ekstraksi, *leaching*, kristalisasi.
2. *Classical advanced*: distilasi ekstraktif, distilasi azeotropik, kristalisasi lelehan, distilasi batch.
3. *Rate-based*: membran (pervaporasi, *gas permeation*, ultra filtrasi, nano filtrasi), distilasi molekuler, kristalisasi dari larutan, adsorpsi, *ion exchange*, kromatografi.
4. Pemisahan berbasis mekanikal: sentrifuge, siklon, decanter, demister, *electrostatic precipitator*, filtrasi, flotasi, magnetic separator, sedimentasi.
5. Sistem pemisahan yang baru: *supercritical extraction*, membran cair, elektroforesis.

*Bapak/Ibu yang saya hormati,*

#### **IV. Prinsip Perancangan Proses Pemisahan**

Sebagai bagian dari proses pabrik kimia, urutan operasi pemisahan dan alat-alat yang digunakannya dirancang agar sesuai dengan target proses, termasuk kapasitas operasi, konsentrasi masuk dan keluar unit pemisah, suhu dan tekanan operasi. Adapun ilmu yang mendasari adalah neraca massa dan energi/panas, laju proses (*rate processes*), dan kesetimbangan (*equilibrium*). Laju proses menyangkut teori transfer massa dan panas (juga transfer momentum), sedangkan kesetimbangan didasari oleh termodinamika. Semua itu jelas dipengaruhi oleh suhu dan tekanan proses pemisahan.

Perancangan alat pemisah secara umum didasarkan pada pendekatan *stagewise contact* dan *continuous contact*. Perancangan alat dengan pendekatan *stagewise contact* didasarkan pada anggapan bahwa pada *stage* dimana terjadi kontak antar fasa, sudah tercapai kesetimbangan. Perhitungan jumlah *stage* dilakukan dengan menyusun neraca massa, neraca panas tiap *stage* dan diperlukan data persamaan kesetimbangan serta parameternya. Penyelesaian perhitungan jumlah *stage* dapat dilakukan dengan penyelesaian secara grafis maupun *stage to stage calculation*. Perhitungan *stage to stage calculation* yang lengkap akan menghasilkan banyak persamaan aljabar simultan. Untuk menyelesaikannya, saat ini sudah lebih mudah dengan tersedianya

komputer. Pada prinsipnya, kesetimbangan akan tercapai pada saat waktu kontak yang tidak terhingga. Untuk mengoreksi kondisi keseimbangan yang belum tercapai, digunakan parameter efisiensi proses pemisahan, berdasarkan data empiris.

Pada perancangan alat dengan pendekatan *continuous contact*, secara prinsip, digunakan persamaan neraca massa, neraca panas dan *rate processes* (transfer massa, transfer panas dan transfer momentum) dan kesetimbangan. Persamaan yang diperoleh umumnya berupa persamaan diferensial atau persamaan matematik. Bila pendekatan atau analisis peristiwanya sangat detail, memasukkan semua variabel yang berpengaruh, maka yang diperoleh adalah sederetan persamaan diferensial dan matematik yang terkait satu sama lain. Sebagai gambaran, memformulasikan aliran fluida yang lengkap (arah 3 dimensi, X-Y-Z), berdasarkan neraca massa dan momentum, akan diperoleh 10 persamaan diferensial, yang dikenal dengan persamaan Navier-Stokes. Jadi, agar bisa merancang alat proses pemisahan dengan baik dan sesuai spesifikasi, serombongan persamaan yang sudah tersusun itu perlu diselesaikan bersama-sama. Ada beberapa alternatif dalam menyelesaikan persamaan-persamaan tersebut. Hal ini juga menyangkut sejarah perkembangan ilmu teknik, termasuk teknik komputasi, yang akan diuraikan sebagai berikut.

Pada awal abad 20, dimana teknik kimia sudah merupakan disiplin ilmu teknik tersendiri, prinsip perancangan alat pemisahan juga mulai dikembangkan. Pada saat itu, alat pemisahan yang banyak digunakan adalah jenis *classical equilibrium-staged*, yaitu: distilasi, absorpsi, ekstraksi, *leaching*. Perancangan yang paling baik adalah perancangan yang mempertimbangkan semua variabel yang berpengaruh. Tetapi akibatnya, persamaan diferensial yang harus diselesaikan juga banyak, dan secara matematis, persamaan-persamaan tersebut tidak bisa diselesaikan secara analitis, dengan kata lain, penyelesaiannya harus non-analitis, salah satunya numeris. Tetapi pada saat itu, fasilitas komputasi masih belum memadai, sehingga belum bisa diandalkan untuk menyelesaikan perancangan dengan baik. Alternatif penyelesaiannya adalah dengan menyederhanakan peristiwa proses pemisahan itu, atau mengurangi variabel yang berpengaruh, tetapi konsekuensinya, mengurangi ketelitian perancangan. Sebagai contoh,

aliran fluida 3 arah disederhanakan menjadi satu arah atau 1 dimensi saja, prosesnya berjalan secara isothermal. Selain itu, agar hasil perancangan tetap reliabel, banyak eksperimen dilakukan, untuk mengumpulkan data-data eksperimen empiris. Pada saat itu, ilmu similaritas teknik (yang didahului dengan ilmu analisis dimensi), yang merupakan cabang matematis empiris, sangat kuat. Dengan prinsip similaritas ini, persamaan empiris untuk suatu proses bisa didekati dan dituangkan ke dalam persamaan kelompok tak berdimensi (*dimensionless group*). Konstante-konstante yang ada di dalam persamaan tersebut dievaluasi dengan data-data dari eksperimen yang memang diarahkan untuk itu. Di bidang aliran fluida dan proses transfer, dikenal kelompok atau bilangan tak berdimensi yang mempunyai arti khusus, misalnya bilangan Reynolds, Nusselt, Sherwood, Prandtl, Schmidt, dan masih banyak lagi. Bilangan-bilangan tersebut mempunyai arti fisis yang spesifik, yang berhubungan dengan bentuk suatu proses, misalnya Reynolds berhubungan dengan jenis aliran laminar dan turbulen, Sherwood dan Schmidt berhubungan dengan peristiwa transfer massa. Persamaan-persamaan empiris tersebut sampai sekarang masih digunakan untuk memperkirakan parameter perancangan proses pemisahan. Persamaan-persamaan dalam bentuk kelompok tak berdimensi tersebut juga digunakan untuk merancang alat dengan prinsip *scale-up*. Dalam metode ini, model (yang umumnya berukuran kecil) digunakan untuk mempelajari karakteristiknya, yang hasilnya kemudian digunakan untuk merancang alat yang berukuran lebih besar, dengan cara *scale-up*.

Seiring dengan perkembangan teknik komputasi (termasuk numerik), yang didukung dengan perkembangan kecepatan *processing computer*, Penyelesaian persamaan-persamaan diferensial yang rumit dan simultan bisa dikerjakan dengan relatif cepat. Hal ini kemudian memunculkan banyak perangkat lunak untuk simulasi maupun desain proses kimia maupun peralatan yang digunakan. Contoh perangkat lunak yang terkenal di bidang simulasi proses adalah ASPEN, HYSYS, ChemCAD, PRO/II, dan masih banyak lagi.

Kecepatan komputasi sekarang yang sudah sedemikian tinggi, didukung oleh perkembangan kecerdasan buatan (*artificial intelligent*)

merupakan modal yang sangat baik dalam perancangan peralatan proses pemisahan, karena tersedianya *data base* yang relatif lengkap.

Pada perancangan alat pemisah, diperlukan data-data perancangan yang sesuai, misal koefisien perpindahan massa, konstanta kesetimbangan. Data-data ini, bila belum tersedia, perlu dicari dengan eksperimen. Oleh karena itu, penelitian dalam bidang proses pemisahan perlu diarahkan pada penentuan parameter-parameter perancangan, baik langsung maupun tidak langsung. Data yang umumnya diperlukan adalah laju proses pemisahan dan kesetimbangan. Mindaryani, dkk., [12], mempelajari tentang difusi di dalam karbon aktif pada proses adsorpsi uap BTX. Mindaryani dkk, [13]. meneliti mengenai kinetika pengeringan ekstrak Merbau untuk merancang alat pengering. Mindaryani dkk, [14], meneliti tentang ekstraksi zat warna alami dari limbah kayu Merbau, parameter perancangan yang diperoleh berupa koefisien perpindahan massa dan konstanta keseimbangan yang dapat digunakan untuk perancangan ekstraktor skala yang lebih besar. Mindaryani dkk. [15], mempelajari mengenai perpindahan massa dan kinetika degradasi tanin pada proses ekstraksi zat warna alami dari tanaman senduduk dan susupan gunung, data yang diperoleh berupa parameter perancangan ekstraktor.

*Bapak/Ibu yang saya hormati,*

## **V. Proses Pemisahan di Masa Depan**

Di masa depan, pabrik kimia sangat tergantung pada kemajuan teknologi, termasuk tuntutan efisiensi konsumsi bahan baku maupun energi, ramah lingkungan, serta keberlanjutannya (*sustainability*). Proses kimia yang dipilih lebih ramah lingkungan, seperti penggunaan pelarut hijau, katalis yang lebih efisien, dan pengurangan penggunaan energi (integrasi panas).

Pada tahap perancangan proses, yang di dalamnya ada perancangan proses pemisahan, akan ada perangkat lunak yang sudah *established* dan *reliable*. Tetapi di sisi lain, data yang akurat dan sah, kadang masih perlu dicari dan ditentukan dengan eksperimen, karena kadang-kadang data yang dihitung dengan pendekatan teoritis belum cukup reliabel. Sebagai contoh adalah data laju reaksi yang spesifik dari



sebuah proses yang sama sekali baru, belum pernah ada pabrik sebelumnya. Data kinetiknya perlu diperoleh dari hasil eksperimen, yang biasanya dilakukan pada tingkat *pilot plant*. Pabrik yang didirikan dengan perancangan demikian, dalam pengoperasiannya akan dilengkapi dengan sensor dan perangkat *Internet of Things (IoT)* yang menghubungkan berbagai sistem dan peralatan, serta berbasis kecerdasan buatan (AI). Hal ini memungkinkan pemantauan real-time dari kondisi pabrik, memperbaiki kinerja operasi pabrik, dan mendeteksi masalah sebelum terjadi kerusakan. Dalam hal ini, kecerdasan buatan (AI) dapat digunakan untuk menganalisis data produksi dan memprediksi kebutuhan pemeliharaan atau peningkatan proses. Dalam pengoperasian pabrik, bahkan kemungkinan robot digunakan untuk tugas-tugas berulang dan berbahaya, untuk meningkatkan keselamatan dan keamanan.

Pabrik kimia masa depan akan (dan harus) memenuhi isu efisiensi energi dan proses yang berkelanjutan (*sustainable processes*). Pabrik akan semakin mengandalkan energi terbarukan, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menurunkan emisi karbon. Sumber energi terbarukan masa depan diperkirakan akan lebih efisien dan lebih murah biayanya (secara ekonomi).

Dari sisi pengelolaan limbah, pabrik kimia masa depan akan mengintegrasikan sistem pengelolaan limbah ke dalam unit proses utama, bukan seperti pabrik yang ada sekarang, dimana unit pengolahan limbah merupakan pelengkap (utilitas) dan terpisah dari unit proses utama. Peran unit proses pemisahan menjadi sangat penting, agar proses produksi dan pengelolaan limbah berjalan seiring menuju proses yang efisien dan *sustainable*.

*Bapak/Ibu yang saya hormati,*

## **VI. Proses Pemisahan dalam Pendidikan Teknik Kimia**

Seperti penjelasan diawal, bahwa proses pemisahan merupakan bagian yang tak terpisahkan dari perancangan proses, maka dalam pendidikan teknik kimia, pengenalan sampai penguasaan prinsip proses pemisahan adalah wajib. Dalam proses pembelajarannya, ada dua hal yang harus dipelajari, yaitu prinsip dan teori yang mendasari proses

pemisahan, dan aplikasi atau penerapan teori tersebut dalam dasar perancangan alat pemisah. Prinsip dan teori yang mendasari proses pemisahan adalah fenomena perpindahan (*transport phenomena*) atau proses transfer, dan peristiwa kesetimbangan, yang dicakup oleh termodinamika. Pada jenjang program sarjana, dua materi ini wajib diberikan dan dikuasai. Adapun perancangan alat didasarkan pada teori proses transfer dan termodinamika ini, yang diterapkan dan dijabarkan dalam penyusunan persamaan dan rumus-rumus perancangan alat. Seperti kebiasaan dalam bidang teknik, penerapan ini sering mengambil beberapa asumsi, agar persamaan perancangannya bisa diselesaikan dan digunakan, misalnya asumsi bahwa prosesnya isothermal (suhu tetap), dan kesetimbangannya mengikuti persamaan sederhana (hubungan linier), seperti hukum Henry.

Sebelumnya sudah diuraikan, bahwa pendekatan perancangan alat pemisah didasarkan pada dua konsep, yaitu *stagewise contact*, yang menganggap proses pemisahan sudah mencapai kesetimbangan pada setiap *stage*, terutama pada perancangan alat yang menggunakan menara *tray* atau *plate tower* dan untuk proses ekstraksi yang menggunakan alat *mixer settler*. Konsep *continuous contact* (menara *packing*/menara bahan isian, *spray tower*, kolom gelembung) mendasarkan pada proses dimana sepanjang kolom terjadi perpindahan massa dan atau perpindahan panas.

Pendidikan teknik kimia bertanggung jawab untuk membekali mahasiswa dengan pemahaman mendasar tentang teori dan aplikasi proses pemisahan, sehingga menghasilkan lulusan yang kompeten untuk mengatasi tantangan industri modern. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa untuk perancangan proses pemisahan, mahasiswa teknik kimia wajib dibekali dengan hal hal yang terkait dengan proses pemisahan, yang mencakup:

1. Sifat sifat bahan: bahan yang akan dipisahkan dan agen pemisahannya.
2. Berbagai jenis dan metode proses pemisahan: distilasi, ekstraksi, adsorpsi, absorpsi, *leaching*, kristalisasi, pengeringan (*drying*)
3. Pemahaman mengenai jenis-jenis alat untuk proses pemisahan: proses pemisahan mekanis, proses pemisahan berdasar kesetimbangan dan proses pemisahan difusional.

4. Mekanisme kerja alat proses pemisahan: *stagewise contact* dan *continuous contact*.

Setelah memahami dan menguasai prinsip-prinsip dasar pemisahan ini, maka penelitian maupun pengembangan di bidang proses pemisahan dapat dilakukan dengan lebih terarah. Pada tahap penelitian dasar, prinsip penelitiannya adalah pencarian dan evaluasi parameter-parameter perancangan alat pemisahan, serta karakterisasi bahan-bahan yang digunakan dalam proses pemisahan. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk perancangan maupun evaluasi alat dalam proses pemisahan. Prinsip dasarnya adalah berfikir tentang laju proses (*rate processes*) dan kesetimbangan (*equilibrium*). Pada penelitian proses pemisahan yang lebih maju (*advanced*), misalnya di bidang adsorpsi dan membran, alur dasar arah penelitiannya juga sama, namun peristiwanya didekati dengan model yang lebih detail.

Pada pendidikan program sarjana teknik kimia di Indonesia, Asosiasi Pendidikan Teknik Kimia Indonesia (APTEKIM), di tahun 2021 menetapkan bahwa kurikulum teknik kimia harus mencakup Operasi Teknik Kimia (*Unit Operations*) minimum 10 SKS, dan Fenomena Perpindahan minimum 2 SKS, dari total 144 SKS. Dari hasil survey yang dilakukan kepada para alumni mengenai pemerinkatan Mata Kuliah Inti Teknik Kimia oleh Alumni (Fahrurrozi [16]), diperoleh hasil survey: untuk topik neraca massa dan energi responden yang menganggap penting sebanyak 89,3 %. Sedangkan untuk proses-proses pemisahan, responden yang menganggap penting sebanyak 78,3 %.

Beberapa pendidikan teknik kimia di Indonesia, dalam kurikulumnya menggunakan pembelajaran proses pemisahan berdasar jenis dan metode pemisahan: misal pemisahan distilasi, ekstraksi, absorpsi.

Pembelajaran proses pemisahan di Teknik Kimia UGM didasarkan pada konsep pemisahan mekanis, dan proses pemisahan *stagewise contact* dengan kasus untuk proses ekstraksi cair-cair dan distilasi, sedangkan konsep *continuous contact* mempelajari kasus absorpsi dan *cooling tower*, serta proses pengeringan. Pada pembelajaran mata kuliah Operasi Perpindahan Massa dan Panas, di bagian awal dibahas mengenai kasus absorpsi (penyerapan) untuk

perancangan alat kontak kontinyu yang isothermal, sehingga hanya digunakan neraca massa, keseimbangan dan kecepatan transfer massa. Pada bagian berikutnya dibahas mengenai perancangan *cooling tower* dan *dryer*, dimana transfer massa dan transfer panas terjadi secara simultan. Walaupun kasus yang dipelajari lebih detil adalah proses absorpsi, namun mahasiswa juga diminta untuk merancang alat kontak kontinyu untuk proses yang lain misal ekstraksi cair-cair, adsorpsi, maupun *leaching*, untuk melatih mahasiswa mempraktekkan prinsip generalisasi. Praktikum unit operasi dilakukan pada praktikum Operasi Teknik Kimia yang juga diatur oleh PATKIM mengenai standar minimum mata praktikum yang harus ada.

Hidayat [17], menyatakan, dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang begitu cepat, perlu penyesuaian cara atau pola pembelajaran. Ilmu teknik kimia membutuhkan ilmu-ilmu dasar dan juga ilmu dasar keteknikan untuk memperkokoh pondasi seseorang dalam memahami ilmu keteknikan. Pengenalan *software* perancangan terlalu dini memungkinkan mahasiswa menjadi malas dalam belajar tentang ilmu-ilmu dasar dan keteknikan. Seperti mengenalkan kalkulator terlalu dini kepada siswa SD, kemampuan berhitung menjadi sangat lemah. Memang seharusnya siswa SD sampai SMA tidak diperkenankan menggunakan kalkulator. Perpaduan harmonis dan efektif antara pematangan konsep fundamental dan keteknikan dengan pemanfaatan *software* perancangan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik kepada mahasiswa.

*Bapak/Ibu yang saya hormati*

Sebagai akhir dari pidato saya ini, perkenankan saya menyampaikan puji syukur kehadirat Allah Subhaanahu Wata'aalaa yang telah memberikan Rahmat dan berkah Nya sehingga saya dapat berdiri dihadapan ibu – bapak sekalian, untuk menyampaikan pidato pengukuhan Guru Besar pada hari ini. Saya mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia, khususnya Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah menetapkan saya sebagai Guru Besar di Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Ucapan Terima kasih juga saya sampaikan kepada Rektor, Senat Akademik, Dewan Guru Besar, Senat Fakultas Teknik, Dekan (Prof. Ir.

Selo, ST, MT, MSc, PhD, IPU, ASEAN Eng), dan para wakil dekan (Prof. Dr. Ir. Sugeng Supto Surjono, ST, MT, IPU, ASEAN Eng , Prof. Ir. Muslihin Hidayat, ST, MT, PhD, IPU, Ir. Ali Awaludin, ST, MEng, PhD, IPU, ACPE ) serta Ketua Departemen Teknik Kimia (Ir. Ahmad Tawfiequrrahman Yuliansyah, ST, MT, DEng, IPM, ASEAN Eng.), yang telah memberikan persetujuan pengusulan saya sebagai Guru Besar. Juga kepada Direktorat SDM UGM, yang telah membantu dalam pengurusan kenaikan jabatan Guru Besar ini.

Terima kasih kepada Group Riset INDI UGM (Institute Natural Dye Indonesia), dengan ketuanya Prof. Edia Rahayuningsih, dengan anggota tim INDI yang sebagian besar juga Profesor, hal ini yang mendorong saya untuk mengurus kenaikan jabatan. Kepada BAN PT, LAM TEKNIK, dan IABEE, ini juga membuat saya terdorong untuk mengurus kenaikan jabatan, karena setiap kali ases ke lapangan, saya selalu dipanggil Prof. Sehingga walaupun sudah *injury time*, alhamdulillah masih bisa menggantikan pak Rochmadi di Senat FT UGM, gantian saya yang menjadi anggota senat Fakultas Teknik UGM. Terima kasih kepada Prof. Ir. Wiratni, ST, MT, PhD, IPM teman seperjuangan saat mengurus kenaikan jabatan GB. Terima kasih kepada Pengurus Departemen Teknik Kimia periode 2011-2015, 2016-2020: Ir. Moh Fahruzzozi, MSc, PhD, IPU; Prof. Dr. Ir. Sarto, MSc, IPU; Prof. Ir. Wiratni, ST, MT, PhD, IPM; Ir. Suprihastuti Sri Rahayu, MSc, IPU; Prof. Ir. Muslihin Hidayat, ST, MT, PhD, IPU.; yang dibantu juga oleh Bu Sri, Pak Ngadenan, Pak Sarip, Bu Wulan, Bu Nolo, Bu Tina, Bu Tika, terimakasih atas kebersamaan dalam menjalankan tugas. Terima kasih kepada: Prof. Ir. Suryo Purwono, M.A.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN.Eng. dan Prof. Dr. Ir. Edia Rahayuningsih, M.S., IPU., sebagai reviewer naskah pidato ini.

Salam ta'dzim saya sampaikan kepada:

Guru guru saya: SD 3 Wonosobo, SMP 1 Wonosobo dan SMA 3 Semarang. Pembimbing S1 saya: Tugas Perancangan Pabrik Kimia alm Ir. Soegiarto, Penelitian dibimbing oleh alm Ir. Soetomo Pd dan alm Prof. Ir. Wahyudi Budi Sediawan, SU PhD, Pembimbing S2: Prof. David C. Stuckey, Imperial College London, Pembimbing S3 Teknik Kimia FT UGM: Alm. Prof. Boma Wikan Tyoso, PhD, Alm Prof. Ir. Wahyudi Budi Sediawan, SU, PhD, dan Dr. Supranto, MSc. juga

kepada dosen dosen di Teknik Kimia UGM Prof. Ir. Bambang Soehendro, MSc, DESc dan ibu Ir. Sri Redyowati, Prof. Ir. I Made Bendiyasa, MSc, PhD, Dr. Ir. Sumardi, SU. Dosen dosen yang sudah mendahului kita Almarhum: Prof. Ir. Winoto, MSc, Ir. Soehardjo Ds, Ir. Rubachman, Ir. Sri Fatimah, Ir. Soekendro, Ir. Hardjono, Ir. Soehadijono, Dr. Ir. Bardi Murachman, SU, DEA, Prof. Ir. Hary Sulisty, SU, PhD, IPU.

Terima kasih kepada KBK Bioresource Engineering, Laboratorium Proses Pemisahan, seluruh dosen dan tendik Departemen Teknik Kimia FT, UGM atas kerjasamanya.

Terimakasih kepada BLUSKA dan SOWAN, alumni SMP 1 Wonosobo, alumni ALSTE 79 alumni SMA 3 Semarang, kepada sobat Tiasminda, Chemeng 79 alumni Teknik Kimia UGM angkatan 79, Alumni Teknik Kimia UGM, TEKAGAMA atas WA groupnya yang gayeng dan juga reuninya.

Saya menyampaikan rasa cinta dan terima kasih sebesar besarnya kepada kedua orang tua saya, bapak almarhum H. Darussalam, dan ibu saya almarhumah Siti Aminah, kepada bapak ibu mertua almarhum KH. Ali Darokah dan almarhumah Hj Aminah Sunarmi Ali Darokah, terimakasih atas kasih sayang dan doa yang selalu dipanjatkan selama ini. Ucapan terimakasih saya ucapkan kepada almarhum Pakde Chairul Annam dan budhe Agustini Chairul Annam, bapak Sudarto, ibu Endang Kadarwati, kepada keluarga eyang Dahlan, keluarga Kunduran dan keluarga Solo. Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada keluarga Bani Darussalam dan keluarga Bani Ali Darokah beserta segenap anggota keluarga untuk segala kebersamaan dalam suka dan duka. Terima kasih kepada besan dan keluarga, bapak dan ibu Basuki, almarhum bapak Surachman dan ibu Surachman.

Secara khusus saya mengucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada suami saya tercinta Mas Rochmadi yang sudah mendampingi dari kuliah S1, S2, S3 dan saat mengurus kenaikan jabatan. Kepada anak anaku yang saya sayangi: Fajar Ahadi, Fuad Assani, Fauzi Atsalatsa (FA Bros), menantu Aulia Kristanti Nur Anisa, Sieta Rahmawati, cucu-cucu: Aulia Rasheed Ahadi, Aulia Shareen Ahadi, Aulia Khaleel Ahadi, Nada Medina Sansieta, Nyala Birama Sansieta, saya hafal nama kalian karena selalu saya sebut dalam doa.

Semoga kita semua menjadi keluarga yang Sakinah mawwadah wa rohmah dalam perlindungan Allah Subhanahu Wata'ala. Semoga kita semua selalu sehat, selamat, sukses dan bahagia dunia akherat.

Akhir kata saya mengucapkan terima kasih kepada seluruh hadirin yang telah dengan sabar dan ikhlas menyimak dan mendengarkan uraian saya ini. Terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan dan bantuan selama ini, maupun untuk keberlangsungan acara ini. Mohon maaf untuk segala kekurangan maupun kekhilafan. Semoga Allah Subhanahu Wata'ala memberikan balasan kebaikan yang berlipat lipat kepada bapak ibu semua. Aamiin

*Alhamdulillah Robbil 'Alamiin.*

*Wa billaahit Taufiq wal Hidaayah*

*Wassalaamu 'alaikum wa romatullaahi wa barokaatuhu*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Austin, G.T., 1986, *Shreve's Chemical Process Industries*, Mc Graw Hill Book Co.
- [2] <https://chemicalengineeringworld.com/unit-operation-and-unit-process/>, diakses pada 11 Januari 2025, jam 21.00
- [3] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (2021). Peluang Investasi Nikel Indonesia.
- [4] Shuler, M.L, and Kargi, F., 2002, *Bioprocess Engineering: Basic Concepts*, 2<sup>nd</sup> ed., by Prentice Hall PTR Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ.
- [5] Rahayuningsih, E., 2022, Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar pada bidang Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, “Menghidupkan Kembali (Revival) Pewarna Alami Nusantara Untuk Membangun Kedaulatan Bangsa Dalam Pewarna Alami”.
- [6] **Mindaryani, A.**, Rahayuningsih, E., Adriyanti, D.T., and Parthasiwi, L.D., 2019, “Production of Tannin-Based Natural Dye from Mangrove (Rhizophora) Tree Bark: waste from wood chips industry”, 26 th Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE 2019) Kuala Lumpur, Malaysia.
- [7] Rahayuningsih, E., **Mindaryani, A.**, Adriyanti, D.T., Parthasiwi, L.D., Adina, H.P., and Dyah, A.E., 2020, “Conceptual Design of a Process Plant for the Production of Natural Dye from Merbau (Intsia bijuga) Bark,” in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 778, no. 1. doi: 10.1088/1757-899X/778/1/012045.
- [8] <https://chemicalengineeringworld.com/cryogenic-distillation-of-air/>, diakses pada 2 Januari 2025, jam 20.00
- [9] de Haan, A.B., Burak Eral, H., and Schuur, B., 2020, *Industrial Separation Processes*, 2<sup>nd</sup> ed., Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston.
- [10] Kumar, S., Yadav, N., Nain, L., and Khare, S.K., 2020, “A simple downstream processing protocol for the recovery of lactic acid



from the fermentation broth”, *Bioresource Technology*, Volume 318, 124260.

- [11] Wankat, P.C., 2001, “Teaching Separations: Why, What, When and How”, *Chemical Engineering Education*, 35(3), 168-171.
- [12] **Mindaryani, A.**, Supranto, Sediawan, W.B., and Wikantyo, B., 2005, “Kinetic Parameters Determination of Benzene Vapor Adsorption on Activated Carbon Using Differential Permeation Technique”, *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, 5(1), 45-51.
- [13] **Mindaryani A.**, Sujoto V.S.H., Silalahi S.C.M., Petrus H.T.B.M., and Rahayuningsih E., 2023, “Drying of Merbau (Intsia bijuga) Sawdust Extract: Effect of Temperature on the Quality of Natural Dye Product”, *Indonesian Journal of Chemistry*, 23 (5), pp. 1445 - 1455. DOI: 10.22146/ijc.87624.
- [14] **Mindaryani A.**, Sulton A., Setiawan F.A., and Rahayuningsih E., 2023, “Natural Dye Extraction from Merbau (Intsia bijuga) Sawdust: Optimization of Solid–Solvent Ratio and Temperature”, *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 51 (6), pp. 481 – 492. DOI: 10.5658/WOOD.2023.51.6.481
- [15] **Mindaryani A.**, Rahayuningsih E., Zahra A., and Wardani E.E.K., 2023, “Mass Transfer of Natural Dye Extraction and the Degradation Rate”, *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, 23 (3), pp. 400 – 408. DOI: 10.22146/ajche.90844
- [16] Fachrurrozi, 2020, *Peluang dan Tantangan Kebijakan Kampus Merdeka untuk Kurikulum Program Sarjana Teknik Kimia*.
- [17] Hidayat, M, 2024, *Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar dalam bidang Rekayasa Sistem (System Engineering) pada Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Peran Process System Engineering dalam Perancangan Proses dan Produk di Industri Kimia*

## BIODATA



Nama Lengkap	:	Prof. Dr. Ir. Aswati Mindaryani, MSc, IPU
Tempat dan Tanggal Lahir	:	Wonosobo, 6 Maret 1961
Pangkat	:	Pembina Tingkat 1
Golongan	:	IV b
Jabatan	:	Guru Besar, 1 September 2024
Unit Kerja	:	Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Alamat Kantor	:	Jln. Grafika No 2, Kampus Teknik , UGM, Sleman, Yogyakarta
Alamat Rumah	:	Gang Mulia I/125, Plemburan RT 4 RW 25, Sariharjo, Ngaglik, Sleman, 55581

## KELUARGA

1.	Prof. Ir. Rochmadi, SU, PhD, IPU, Asean Eng.	Suami
2.	Fajar Ahadi, S.I.P	Anak
3.	Aulia Kristanti Nur Anisa, S.I.P	Menantu
4.	Aulia Rasheed Ahadi	Cucu
5.	Aulia Shareen Ahadi	Cucu
6.	Aulia Khaleel Ahadi	Cucu
7.	Fuad Assani, STP, MSc	anak
8.	Sieta Rahmawati, STP, MSc	Menantu
9.	Nada Medina Sansieta	cucu

10.	Nyala Birama Sansieta	cucu
11.	Fauzi Atsalatsa, ST	anak

### **RIWAYAT PENDIDIKAN**

2018	:	Pendidikan Profesi, Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
2010	:	S3- Teknik Kimia – UGM
1989	:	S2- Chemical Engineering – Imperial College London
1984	:	S1 Teknik Kimia, FT, UGM
1979	:	SMA Negeri 3 Semarang
1975	:	SMP Negeri 1 Wonosobo
1972	:	SD Negeri 3, Wonosobo

### **RIWAYAT PEKERJAAN**

Dosen Departemen Teknik Kimia, FT, UGM (1985- sekarang)

#### **Asosiasi Profesional**

- 2010 – sekarang : *Institution of Chemical Engineers* (ICChemE)  
 2015 – sekarang : Persatuan Insinyur Indonesia (PII)

### **PENGHARGAAN**

- 2021 : Penghargaan XXXV tahun mengabdikan  
 2018 : Satya Lencana Karya Satya XXX tahun  
 2012 : Penghargaan XXV tahun mengabdikan  
 2004 : Best presenter bidang Teknologi pada seminar National Penerapan IPTEKS dan VUCER, April 27th – 29th, 2004 di Jakarta.  
 1999 : internship scholarship dari British Council di the University of New Castle Upon Tyne, UK selama 3 bulan  
 1999 : Peserta terbaik untuk bidang Teknik Kimia pada Teaching Improvement Workshop (TIW) Dikti di Bandung  
 1994 : Best presenter bidang Teknologi pada Seminar Hasil Penelitian DP4M Dikti di Jakarta

1984 : Lulus S1 dengan predikat Cumlaude. Wisudawan terbaik Fakultas Teknik UGM pada wisuda bulan Agustus 1984

### **HAKI (5 tahun terakhir)**

2020 : Operasi Perpindahan Massa dan Panas – buku

2024 : Metode Pembuatan Zat Warna Alamai dari Serbuk Kayu Merbau (Intsia Bijuga) – Paten Sederhana

### **PROSIDING dan JURNAL Terindeks Scopus**

1. **Mindaryani A.**, Rahayu S.S., 2009, "Mass transfer of water adsorption from ethanol technical grade in corngrits", 8th World Congress of Chemical Engineering: Incorporating the 59th Canadian Chemical Engineering Conference and the 24th Interamerican Congress of Chemical Engineering, pp. 515a.
2. **Mindaryani A.**, Rahayuningsih E., Wijayanto N.B., and Masulili A.N., 2021, "the Effect of Temperature on Solvent Recycle Process using Stripping of CO<sub>2</sub> from MDEA, Ethylene Glycol, and Water", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 927 (1), DOI: 10.1088/1755-1315/927/1/012038.
3. Pambudiarto B.A., **Mindaryani A.**, Deendarlianto, and Budhijanto W., 2020, "Evaluation of the effect of operating parameters on the performance of orifice/porous pipe type micro-bubble generator", Journal of Engineering and Technological Sciences, 52 (2), pp. 196 – 207. DOI: 10.5614/j.eng.technol.sci.2020.52.2.5.
4. Aziz N., **Mindaryani A.**, Supranto, Taftazani A., and Biyantoro D., 2018, "Effect of Temperature to Adsorption Capacity and Coefficient Distribution on Rare Earth Elements Adsorption (Y, Gd, Dy) Using SIR", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 349 (1). DOI: 10.1088/1757-899X/349/1/012041.
5. Paramesti A., Damarjati B.A., Widyaparaga A., Deendarlianto, **Mindaryani A.**, Marbelia L., and Budhijanto W., 2020, "Development of Low-Cost Aerobic Bioreactor for Decentralized Greywater Treatment", Advances in Waste Processing Technology, pp. 111 – 125. DOI: 10.1007/978-981-15-4821-5\_7.

6. **Mindaryani A.**, Budhijanto W., and Narendratama R.D., 2017, “CO<sub>2</sub> desorption from glycerol for reusable absorbent”, AIP Conference Proceedings, 1840, DOI: 10.1063/1.4982279
7. **Mindaryani A.**, Budhijanto W., and Ningrum S.S., 2016, “Continuous absorption of CO<sub>2</sub> in packed column using MDEA solution for biomethane preparation”, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 162 (1). DOI: 10.1088/1757-899X/162/1/012006.
8. Sani Z.M., Rahayuningsih E., and **Mindaryani A.**, 2019, “Nano ZnO/TiO<sub>2</sub> photo-catalyst as an anti-ultra violet agent on Indigofera tinctoria colored cotton fabric”, AIP Conference Proceedings, 2085. DOI: 10.1063/1.5095023.
9. **Mindaryani A.**, Rahayuningsih E., Zahra A., and Wardani E.E.K., 2023, “Mass Transfer of Natural Dye Extraction and the Degradation Rate”, ASEAN Journal of Chemical Engineering, 23 (3), pp. 400 – 408. DOI: 10.22146/ajche.90844
10. **Mindaryani A.**, Rahayuningsih E., Adriyanti D.T., Parthasiwi L.D., Widhiasih M.S., and Larasati F., 2020, “Production of Tannin-based Natural Dye from Mangrove (Rhizophora mangle) Tree Bark Waste from Wood Chips Industry: A Feasibility Study”, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 778 (1). DOI: 10.1088/1757-899X/778/1/012001.
11. Lestari P.P., **Mindaryani A.**, and Wirawan S.K., 2018, “CO<sub>2</sub> Absorption from Biogas by Glycerol: Conducted in Semi-Batch Bubble Column”, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 316 (1). DOI: 10.1088/1757-899X/316/1/012065.
12. **Mindaryani A.**, Sulton A., Setiawan F.A., and Rahayuningsih E., 2023, “Natural Dye Extraction from Merbau (Intsia bijuga) Sawdust: Optimization of Solid–Solvent Ratio and Temperature”, Journal of the Korean Wood Science and Technology, 51 (6), pp. 481 – 492. DOI: 10.5658/WOOD.2023.51.6.481
13. **Mindaryani A.**, and Rahayu S.S., 2010, “Epoxidation of candlenut oil”, ICCCE 2010 - 2010 International Conference on Chemistry

- and Chemical Engineering, Proceedings, pp. 102 – 105 DOI: 10.1109/ICCCENG.2010.5560371.
14. Yuliantoro H., Kusumastuti Y., **Mindaryani A.**, Handayani M., and Rochmadi, 2021, “Functionalization of single-walled carbon nanotubes with a HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> mixture through different treatments: A DFT supported study”, AIP Conference Proceedings, 2349. DOI: 10.1063/5.0051916.
  15. Evitasari R.T., Rahayuningsih E., and **Mindaryani A.**, 2019, “Dyeing of cotton fabric with natural dye from peristrophe bivalvis extract”, AIP Conference Proceedings, 2085. DOI: 10.1063/1.5095033.
  16. Hakika D.C., Sarto S., **Mindaryani A.**, and Hidayat M., 2022, “Influence of fenton pretreatment on anaerobic digestion of sugarcane vinasse: effect of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dosage”, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 963 (1). DOI: 10.1088/1755-1315/963/1/012009
  17. Hakika D.C., Sarto S., **Mindaryani A.**, and Hidayat M., 2019, “Decreasing COD in sugarcane vinasse using the fenton reaction: The effect of processing parameters”, Catalysts, 9 (11). DOI: 10.3390/catal9110881
  18. Evitasari R.T., Rahayuningsih E., and **Mindaryani A.**, 2023, “Application of Chitosan and Catechin to Improve The Color Intensity and UV Protection in The Dyeing of Cotton Fabrics With Natural Dyes From Peristrophe Bivalvis”, AIP Conference Proceedings, 2702 (1). DOI: 10.1063/5.0154606
  19. **Mindaryani A.**, Sujoto V.S.H., Silalahi S.C.M., Petrus H.T.B.M., and Rahayuningsih E., 2023, “Drying of Merbau (Intsia bijuga) Sawdust Extract: Effect of Temperature on the Quality of Natural Dye Product”, Indonesian Journal of Chemistry, 23 (5), pp. 1445 - 1455. DOI: 10.22146/ijc.87624.
  20. Mukti N.I.F., Prasetyo I., **Mindaryani A.**, and Septarini S., 2018, “Preparation of porous carbon as ethylene adsorbent by pyrolysis of extraction waste Mangosteen rinds”, MATEC Web of Conferences, 154. DOI: 10.1051/mateconf/201815401032
  21. Larasati F., Kusumastuti Y., Mindaryani A., Rochmadi, and Handayani M., 2022, “Surface Modification of Multi-Walled

- Carbon Nanotubes with Polysaccharides”, (2022) ASEAN Journal of Chemical Engineering, 22 (1), pp. 82 – 92. DOI: 10.22146/ajche.69866
22. Rahayuningsih E., Mindaryani A., Adriyanti D.T., Parthasiwi L.D., P Adina H., and E Dyah A., 2020, “Conceptual Design of a Process Plant for the Production of Natural Dye from Merbau (Intsia bijuga) Bark”, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 778 (1). DOI: 10.1088/1757-899X/778/1/012045
  23. Mindaryani, A., Supranto, Sediawan, W.B., and Wikantyoso, B., 2005, “Kinetic Parameters Determination of Benzene Vapor Adsorption on Activated Carbon Using Differential Permeation Technique”, ASEAN Journal fo Chemical Engineering, 5(1), 45-51.